



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑪ **DE 38 13 150 A1**

⑳ Aktenzeichen: P 38 13 150.1  
㉑ Anmeld tag: 20. 4. 88  
㉒ Offenlegungstag: 9. 11. 89

⑤ Int. Cl. 4:  
**G01 N 27/20**  
B 23 K 31/02  
C 04 B 35/52  
// B64C 3/20,  
B64D 45/00

DE 38 13 150 A1

㉓ Anmelder:

Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt eV, 5000 Köln, DE

㉔ Vertreter:

von Kreisler, A., Dipl.-Chem.; Selting, G., Dipl.-Ing.; Werner, H., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Schönwald, K., Dr.-Ing.; Fues, J., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Böckmann gen. Dallmeyer, G., Dipl.-Ing., Pat.-Anwälte, 5000 Köln

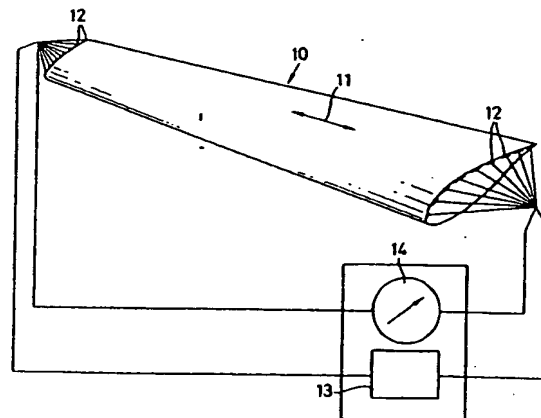
㉕ Erfinder:

Baron, Christian, 5210 Troisdorf, DE; Schulte, Karl, Dr., 5216 Niederkassel, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Mit Kohlenstoff-Fasern verstärktes Formstück

Die Überwachung der Verstärkungsfasern eines Formteils (10) erfolgt dadurch, daß die Faserenden mit Kontaktelementen (12) verbunden sind. Eine Stromquelle (13) schickt durch die in Hauptbelastungsrichtung verlaufenden Fasern einen elektrischen Strom, dessen Stärke gemessen wird. Ein Widerstandsanstieg gibt Aufschluß über Faserbruch. Die Erfindung ermöglicht eine zerstörungsfreie Überwachung der Faserverstärkung eines Formteils auch während des Betriebes.



DE 38 13 150 A1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Formstück nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Kohlenstoff-Fasern haben eine hohe Zugfestigkeit und werden bevorzugt als Verstärkungsfasern für Formstücke, beispielsweise Kunststofflamine, benutzt. Es gibt bisher keine zerstörungsfreie Prüfmethode, die das Versagen der lasttragenden Kohlenstoff-Fasern in einem Faserverbundwerkstoff anzeigt. Die Untersuchung auf Faserversagen ist nur durch zerstörende Prüfmethode, beispielsweise durch Schlifffbilduntersuchung oder Matrixpyrolyse, oder durch indirekte Methoden, nämlich die Verwendung von zusätzlichen Lichtleitern aus Glasfasern im Formstück, möglich. Zerstörende Prüfmethode haben den Nachteil, daß das Formstück unbrauchbar wird und nicht mehr einsetzbar ist. Der Einbau zusätzlicher Lichtleiter in das Formstück bewirkt eine erhebliche Verteuerung des Formstücks.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein mit Kohlenstoff-Fasern verstärktes Formstück zu schaffen, bei dem die Fasern ohne Beeinträchtigung des Formstücks überprüfbar sind.

Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt erfindungsgemäß mit den im kennzeichnenden Teil des Patentanspruchs 1 angegebenen Merkmalen.

Bei dem erfindungsgemäßen Formstück sind die Enden der Fasern mit elektrisch leitenden Kontaktelementen verbunden. Dadurch besteht die Möglichkeit, jederzeit einen elektrischen Strom durch die Kohlenstoff-Fasern zu schicken und somit den Faserwiderstand in Längsrichtung der Fasern zu messen. Vorzugsweise erfolgt diese Widerstandsmessung mit Gleichstrom, wobei eine Konstanzstromquelle benutzt wird. Der an den Kohlenstoff-Fasern entstehende Spannungsabfall ist dem elektrischen Widerstand proportional. Die Widerstandsänderungen sind direkt abhängig vom Gesamtquerschnitt aller erfaßten Fasern und somit auch von der Anzahl der stromdurchflossenen Fasern. Eine Widerstandsänderung ist somit unmittelbar auf Faserversagen zurückzuführen.

Da der elektrische Widerstand der Fasern temperaturabhängig ist, sollte durch gleichzeitige Ermittlung der Temperatur des Formstücks der gemessene Widerstandswert korrigiert werden. Dies geschieht vorzugsweise auf der Basis von Kalibrierkurven, die von den zu untersuchenden CFK-Werkstoffen vorab ermittelt werden.

Der elektrische Widerstand von CFK-Werkstoffen ist abhängig von der Faserlänge, dem Faserdurchmesser, der spezifischen Leitfähigkeit, der elektrischen Stromstärke und der Temperatur. Um ein Aufheizen der zu untersuchenden Probe bzw. des Formteils aufgrund des fließenden Stroms zu verhindern, sollte eine Strombegrenzung vorgenommen werden. Dies geschieht auf einfache Weise durch Verwendung einer Konstanzstromquelle.

Ein besonderer Vorteil des erfindungsgemäßen Formstücks besteht darin, daß die Kohlenstoff-Fasern zerstörungsfrei überprüft werden können. Eine Prüfung ist sogar im Einbauzustand bzw. beim bestimmungsgemäßen Einsatz des Formstücks möglich. Wenn es sich bei dem Formstück um ein Flugzeugteil handelt, z.B. eine Tragfläche, kann die Prüfung vom Cockpit aus ständig oder in Intervallen durchgeführt werden, ohne daß ein Ausbau des Formstücks erforderlich ist.

Die Kontaktierung der Fasern mit den Kontaktelementen erfordert große Sorgfalt um sicherzustellen, daß

möglichst alle Faserenden in elektrischer Verbindung mit dem Kontaktelement stehen. Hierzu wird gemäß Anspruch 2 ein flüssig aufgebracht Lot aus gut leitfähigem Material, z.B. Leitsilber, benutzt, welches die freiliegenden Faserenden vollflächig umschließt und einbettet. Die Kontaktierung kann aber auch durch Besputtern oder Bedampfen mit einem elektrisch leitenden Material erfolgen.

Zur Erleichterung des elektrischen Anschlusses können die Faserenden gemäß Anspruch 3 aus dem Formteil herausragen. In diesem Fall wird das Formteil so hergestellt, daß die Fasern über die Matrix hinaus überstehen. Eine andere Möglichkeit besteht darin, gemäß Anspruch 4 die Faserenden durch mechanische Behandlung der Matrix freizulegen, so daß sie über die Matrix erhaben sind.

Das erfindungsgemäß mit Kontaktelementen ausgestattete Formstück ermöglicht die Prüfung der Faserverstärkung nicht nur während der bestimmungsmäßigen Verwendung des Formstücks, sondern auch bei der Herstellung. So ist es beispielsweise möglich, die Herstellungstemperatur des Formstücks durch Messung des elektrischen Widerstands während des Aushärtens in einer Presse oder einem Autoklaven zu kontrollieren.

Eine andere Benutzungsart der Kontaktelemente besteht darin, die Kohlenstoff-Fasern durch einen kontrollierten Stromfluß aufzuheizen, um das die Fasern umgebende Matrixmaterial örtlich zu erwärmen. Dabei kann gleichzeitig die Erwärmung durch Messung des Stromdurchflusses durch die Kohlenstoff-Fasern bzw. durch Messung des Spannungsabfalls an diesen Fasern kontrolliert werden. Das Erwärmen des Formstücks erfolgt intern und nicht von außen durch formgebundene Wärmeübertragung und über den Wärmefluß behindernde Teile. Die Schmelzinfiltration mit Matrixmaterial wird bei CFK-Laminaten, auch bei Geweben, möglich, indem elektrischer Strom durch die Fasern geleitet wird und diese sich aufheizen und das angrenzende Matrixmaterial, bevorzugt Thermoplaste, aufschmilzt, so daß das Matrixmaterial zwischen die Fasern fließen und sie vollständig umhüllen kann. Das Matrixmaterial kann dabei in Form von Folien, die zwischen den Laminatlagen liegen, oder in pulveriger Form vorliegen. Es ist sogar möglich, die Temperaturen der Kohlenstoff-Fasern durch elektrische Aufheizung so zu steigern, daß auch metallische Werkstoffe, z.B. Aluminium oder Magnesium, als Matrixmaterial benutzt werden können.

Bei dem erfindungsgemäßen Formstück kann durch die Strommessung bzw. Spannungsmessung auch eine Messung der Dehnung erfolgen.

Im folgenden werden unter Bezugnahme auf die Zeichnungen Ausführungsbeispiele der Erfindung näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Formteils in Form eines Flugzeugflügels, dessen Faserverstärkung auf Unversehrtheit ständig überwacht wird,

Fig. 2 eine perspektivische Darstellung der Verbindung eines elektrischen Kontaktelements mit den Enden der Fasern,

Fig. 3 ein Formteil mit herausragenden Faserenden und

Fig. 4 ein Diagramm zur Erläuterung der mechanischen Spannung bzw. des elektrischen Widerstands in Abhängigkeit von der Faserdehnung.

Das in Fig. 1 dargestellte Formteil 10 ist ein Flugzeugflügel, der aus mehreren Laminatschichten besteht. Mindestens eine der Laminatschichten enthält längslau-

fende Kohlenstoff-Fasern, die in Richtung des Doppelpfeils 11 verlaufen. An den Enden des Formteils 10 sind die Fasern mit elektrischen Kontaktelementen 12 elektrisch leitend verbunden. Die Kontaktelemente 12 an jedem Ende sind untereinander verbunden und an eine Konstanztromquelle 13 angeschlossen, welche einen konstanten Strom in Längsrichtung durch die Fasern des Formstücks 10 treibt. Die Kontaktelemente 12 zu beiden Enden des Formstücks 10 sind ferner an ein Voltmeter 14 angeschlossen, welches den durch die Kohlenstoff-Fasern verursachten Spannungsabfall mißt.

Fig. 2 zeigt ein Formstück 10, in dem die Richtung der Kohlenstoff-Fasern ebenfalls durch einen Doppelpfeil 11 bezeichnet ist. Die Faserenden 11a sind über die Stirnseite der Kunstharzmatrix 16 erhaben, indem die Kunstharzmatrix 16 durch Schleifen, Polieren, Ätzen o.dgl. behandelt ist, wodurch Topographieunterschiede entstehen und die Faserenden 11a aus der Matrix hervorstehen. Die Kontaktierung der Faserenden 11a erfolgt durch ein flüssig aufgebrachtes Lot 17, das um die Faserenden herumfließt, diese vollständig einschließt und anschließend erhärtet. Die Schicht 17 kann auch ein Leitsilber sein, welches durch Lösungsmittel im flüssigen Zustand aufgebracht wird und unter Verdampfen des Lösungsmittels erhärtet. Die Schicht 17 ist über einen Flansch 17a mit dem metallischen Kontaktelement 18 verbunden, an das ein Anschlußkabel 19 angelötet ist. Alternativ kann die Schicht 17 auch durch Bedampfen (Sputtern) leitend und haftend mit den Fasern verbunden werden.

Eine andere Möglichkeit der Kontaktierung von in Belastungsrichtung orientierten Fasern oder Faserlagen zeigt Fig. 3. Das Formstück 10 ist hierbei ein Laminat aus mehreren Schichten 20, 21, 22, die parallele Fasern oder Fasergewebe enthalten. Bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel sind die Kohlenstoff-Fasern 23 der einen Schicht 20 in Belastungsrichtung orientiert, während die Fasern der darüberliegenden Schicht 21 in Querrichtung und die Fasern der dritten Schicht 22 diagonal orientiert sind. Die Enden der in Hauptbelastungsrichtung liegenden Fasern 23 ragen aus dem Formstück 10 heraus und liegen somit für die Kontaktierung frei. Die Anbindung dieser Faserenden an das Kontaktelement erfolgt in gleicher Weise wie in Fig. 2.

Fig. 4 zeigt die Veränderung des elektrischen Widerstands eines unidirektionalen CFK-Formstücks zusammen mit dem Spannungs-Dehnungs-Verhalten. Bei Faserbrüchen ist ein deutlicher und abrupter Anstieg des elektrischen Widerstandes erkennbar. Bis etwa 1,2% Dehnung ist kein Faserversagen zu beobachten. Trotzdem tritt mit zunehmender Materialspannung/Dehnung ein Anstieg des elektrischen Widerstandes auf. Anhand der Überwachung des elektrischen Widerstandes können daher Faserbrüche sehr leicht festgestellt werden und es kann auch vorbeugend festgestellt werden, ob ein Faserbruch bei weiterer Belastung unmittelbar bevorsteht.

#### Patentansprüche

1. Mit Kohlenstoff-Fasern verstärktes Formstück, dadurch gekennzeichnet, daß die Enden der Fasern mit elektrischen Kontaktelementen (18) für den Anschluß einer Stromquelle (13) und/oder eines Spannungsmessers (14) leitend verbunden sind.
2. Formstück nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen den Enden (11a) der Fasern und den Kontaktelementen (18) ein flüssig oder

durch Sputtern aufgebrachtes und erhärtetes Lot (17) vorhanden ist.

3. Formstück nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Enden der Fasern (23) aus der Matrix des Formteils (10) herausragen.

4. Formstück nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Enden (11a) der Fasern durch mechanische oder chemische Behandlung über die Matrix (16) des Formteils (10) erhaben sind.

2: 4

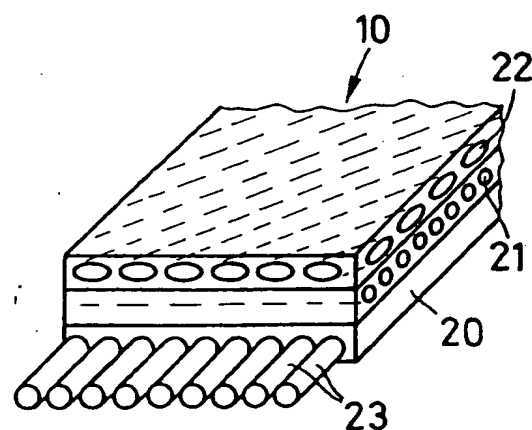
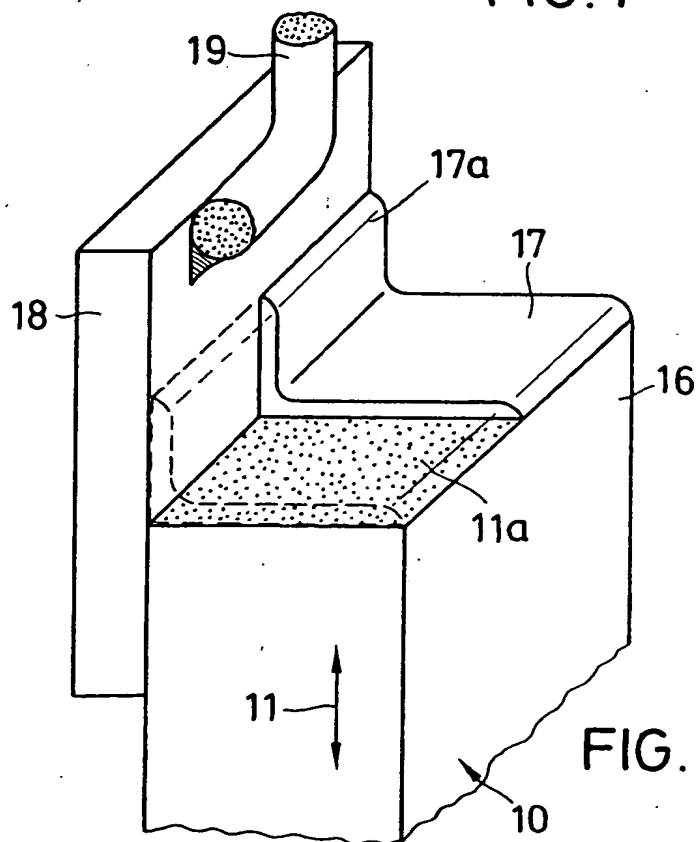
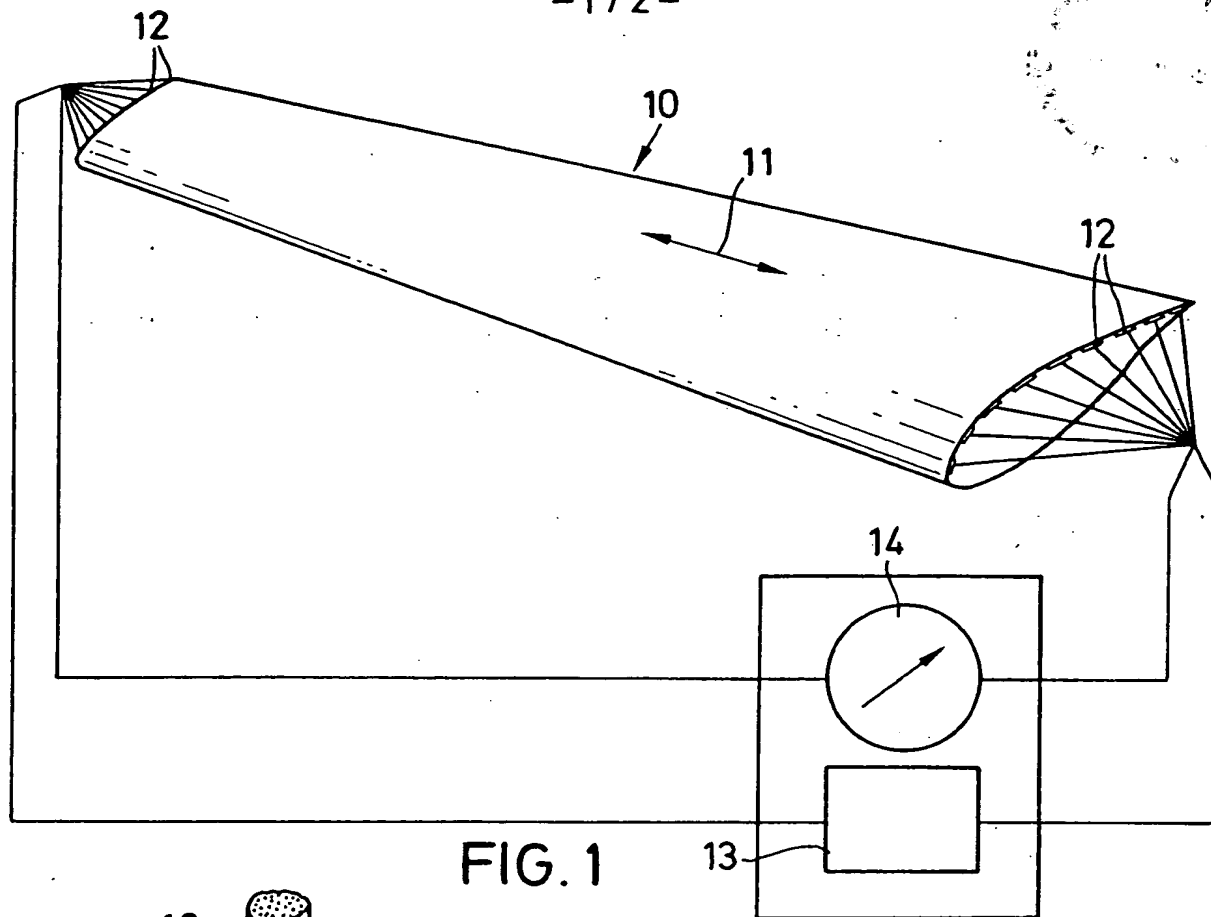
— Leerseite —

3813150

Numm.  
Int. Cl.<sup>4</sup>:  
Anmeldetag:  
Offenlegungstag:

38 13 150  
G 01 N 27/20  
20. April 1988  
9. November 1989

- 1 / 2 -





- 2 / 2 -

3813150

10\*

FIG. 4

